

## Modélisation des flux de biomasse : une approche de la fertilité dans l'Agreste de la Paraíba (Brésil)

Jean-Philippe Tonneau, Éric Sabourin,  
Luciano Marçal da Silveira, Pablo Sidersky

**L**e travail présenté ici a été réalisé par l'AS-PTA (Appui et services aux projets d'agriculture alternative) et le Cirad-Tera, dans le cadre d'un projet d'appui au développement d'une agriculture familiale durable dans l'Agreste de la Paraíba (Brésil). Ce projet, « Paraíba », a débuté en 1993 par un partenariat entre l'AS-PTA et les organisations d'agriculteurs des districts de Solânea et Remígio (carte 1).

En 1994, suite à un rapide diagnostic participatif, un zonage agro-écologique [1] et une analyse des systèmes d'élevage [2], le thème de la conservation des sols est apparu prioritaire [3]. Des techniques classiques ont été proposées et le suivi de leur diffusion a mis en évidence une prise en compte insuffisante des pratiques des agriculteurs.

Sébillote [4] a défini la fertilité des sols comme la capacité productive des terres, en fonction des propriétés objectives du sol et du milieu : propriétés hydrodynamiques, teneur en éléments nutritifs, pH, pluviométrie, relief, etc. Les pratiques d'amélioration (travail du sol, apport d'éléments minéraux, etc.) ou de

gestion de la biomasse améliorent ou diminuent cette capacité productive. Pichot [5] parle de la fertilité d'un milieu comme son aptitude à satisfaire durablement les besoins des populations au travers des systèmes de production et d'aménagement qu'elles mettent en œuvre. La fertilité est alors un construit social, le produit d'une interaction entre le milieu biophysique, les systèmes de production et l'environnement. En ce

sens, il n'y a pas de fertilité en soi, ni même de gestion de la fertilité. Il y a un ensemble de pratiques et de systèmes techniques qui déterminent un état des ressources, en particulier des sols. Ces pratiques peuvent être qualifiées de « gestion de stock organique ». Dans cette perspective, l'AS-PTA a développé une approche intégrée et systémique de l'ensemble « sol cultivé/biomasse produite/élevage ». Un nouveau diagnostic,



**Carte 1.** Agreste de la Paraíba au Nordeste du Brésil.

**Map 1.** Agreste de la Paraíba in the Nordeste region in Brazil.

J.-P. Tonneau, É. Sabourin : Cirad-Tera, TA 60/15, 73, rue Jean-François-Breton, 34398 Montpellier Cedex 5.  
<jeantonneau@hotmail.com>  
L. Marçal da Silveira, P. Sidersky : AS-PTA, Rua da Candelaria 9, 6° andar, Centro, 20091-020 Rio de Janeiro-RJ, Brésil.

Tirés à part : J.-P. Tonneau

Thèmes : Systèmes agraires ; Agronomie ; Phytotechnie.



rapide et qualitatif, a été réalisé pour orienter la quantification des flux de biomasse et l'élaboration d'un bilan. Une série d'entretiens, de visites et d'observations, a été menée parmi des exploitations représentatives des systèmes de production et des zones agro-écologiques des districts de Remígio et Solânea [6, 7].

Dans une première partie, l'article précise le cadre de l'intervention, la réflexion conduite autour des problèmes de fertilité avant cette étude et la méthodologie utilisée. La seconde partie analyse les pratiques des agriculteurs. La troisième partie traite de la construction et de la validation d'un modèle des flux de biomasse à l'échelle de l'exploitation. La conclusion décrit les conséquences du diagnostic pour les groupes d'agriculteurs et pour l'équipe technique AS-PTA/Cirad, quant à la conception et à la réalisation du travail sur la fertilité.

## La région et ses systèmes de production

La région de l'Agreste se distingue par sa diversité agro-écologique (« les agrestes ») [8]. C'est une zone de transition entre le littoral humide et les zones arides de l'intérieur. Le régime des pluies est unimodal, avec une saison humide de mars à août et une saison sèche de septembre à février. La variabilité de la pluviométrie peut passer sur de très courtes distances de 400 à 1 000 mm et se traduit par la diversité des activités agricoles, d'autant plus que la diversité sociale est importante (superficie de l'exploitation, revenus extérieurs, etc.). Dans la zone du projet, on distingue trois grandes unités : le « Brejo » (zone de collines avec une pluviométrie moyenne de 1 000 mm), « l'Agreste », au sens agro-écologique local et non au sens géographique (avec une pluviométrie moyenne de 600 mm), et la vallée du Curimataú (zone semi-aride, avec moins de 400 mm). La zone présente plusieurs petites régions naturelles, marquées par une différenciation des précipitations, du relief, des sols et des systèmes de production (carte 2).

Le « Brejo », à l'est, correspond à une ancienne zone de production de canne à sucre, aujourd'hui remplacée par des systèmes à base de fruits (banane, mangue, anacardier, agrumes), de haricot (*Phaseolus*

*vulgaris* et *Vigna unguiculata*), d'igname (*Dioscorea sp.*), de manioc (*Manihot esculenta*) et d'élevage. On y trouve également un peu de maraîchage. L'« Agreste » est surtout occupé par des cultures traditionnelles associées (maïs, haricot, manioc et fèves (*Phaseolus lunatus*), ou par la pomme de terre (*Solanum tuberosum*) associée à l'anis (*Foeniculum vulgare*), les deux cultures commerciales de la région. Le « Curimataú » est marqué par des activités d'élevage et par l'association maïs-haricot.

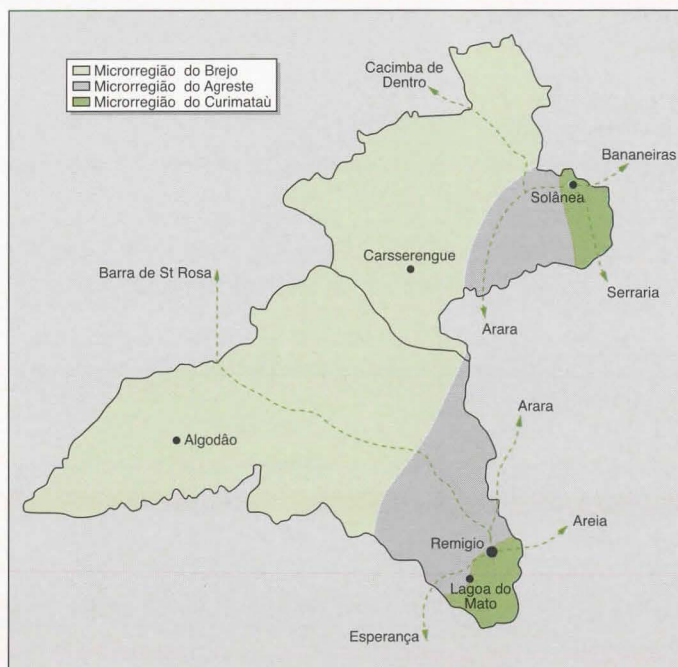
La plupart de la population et des petites propriétés se concentre dans le « Brejo » et l'« Agreste » avec une importante agriculture familiale de minifundium (77 % des unités ont moins de 5 hectares). Les exploitations de moins de 10 hectares (90 % des établissements) ne totalisent que 30 % de la surface agricole alors que les propriétés de plus de 200 hectares occupent plus de 50 % des terres [9, 10]. Les systèmes de production de l'agriculture familiale reposent sur la polyculture (cultures vivrières, commerciales et fourragères) associée à l'élevage ; ils sont, de longue date, partiellement ou totalement intégrés au marché, via une succession de cycles de cultures de rente (tabac, coton, sisal, ricin, pomme de terre, anis, etc.) [11].

La diversification est fonction de la diversité agro-écologique et géographique de la région, de la différenciation socio-économique entre les producteurs, de leur origine et des diverses formes

d'accès à la terre [10]. Le paysage est dominé par les cultures annuelles (surtout alimentaires), les pâturages (y compris d'anciennes friches) et les vergers.

La typologie des producteurs familiaux réalisée par l'AS-PTA et les syndicats de paysans [10], indique une majorité de minifundia et d'agriculteurs « sans-terre » (fermiers, métayers, etc.). Ensuite, on trouve les « agriculteurs-éleveurs » et, finalement, les producteurs spécialisés (fruits et pomme de terre). Toutes les familles de petits producteurs élèvent quelques animaux, surtout des bovins, parfois deux ou trois têtes conduites à la corde et au piquet [2]. La proportion des petits ruminants a augmenté avec la sécheresse des dernières années et l'élevage de volailles est fréquent. Les cultures de rente sont spécifiques de chaque unité agro-écologique : pomme de terre et anis dans l'« Agreste », banane dans le « Brejo », légumes verts là où l'irrigation est possible. L'agriculture familiale de l'« Agreste » de la Paraíba connaît des évolutions assez semblables à celles de l'ensemble des agricultures familiales nordestines.

La concurrence nationale et internationale ou les dégâts des ravageurs ont accéléré la fin des cycles de cultures marchandes (tabac, sisal, coton, ricin, etc.). Une agriculture à faible utilisation d'intrants s'est maintenue, entraînant une pression accrue sur les ressources naturelles. La fragmentation des unités familiales a conduit à un déboisement pratiquement intégral de la végétation



**Carte 2.** Zones agro-écologiques des districts de Remígio et Solânea.

**Map 2.** Agroecological zones in the districts of Remigio and Solânea.



naturelle, à l'abandon de la jachère et à la succession des cultures sur les mêmes parcelles. Certaines pratiques, comme le travail du sol dans le sens de la pente et le surpâturage, ont contribué à la dégradation des sols, accentuée par l'érosion hydrique [12]. Dans le même temps, le développement des activités d'élevage a constitué la réponse privilégiée des politiques agraires, même si quelques projets de production de pomme de terre et de maraîchage en irrigué ont été soutenus. Crédits et appui technique, selon des mécanismes classiques de garantie foncière et de clientélisme, ont été orientés vers les grandes exploitations.

Le projet « Paraíba » étudie et appuie les possibilités de développement de l'agriculture familiale en évitant une dégradation des ressources naturelles, en privilégiant l'entrée « stock de matière organique ».

## La « fertilité » dans le projet « Paraíba »

Au cours du diagnostic initial, les agriculteurs mentionnèrent le problème de « terre faible », indiquant une diminution des rendements, attribuée à la fin de la jachère et aux superficies réduites des exploitations. Mais d'autres éléments furent évoqués, comme l'érosion hydrique, souvent vérifiable de visu. Deux axes de travail ont alors été établis : la conservation des sols et la production de biomasse. Les propositions techniques destinées à freiner l'érosion portaient de l'hypothèse que la réduction des pertes en terre permettrait de limiter l'épuisement des sols. Augmenter la production de phytomasse dans les espaces cultivés, de façon à activer les processus biologiques du sol et à fixer l'azote par l'introduction de nouvelles espèces de légumineuses, devait favoriser la restitution au sol d'une partie des éléments apportés par le recyclage de cette biomasse.

À cet effet, les propositions initiales furent classiques : travail du sol en courbes de niveau pour limiter l'érosion, introduction du pois d'angola (*Cajanus cajan*) dans les parcelles de maïs-haricot (et plus tard du sorgho), lignes intercalaires de *Gliricidia sepium* dans les parcelles cultivées, engrais vert de *Crotalaria sp.* pour la pomme de terre, engrais vert dans les bananeraies. L'ensemble de ces innova-

tions techniques a été favorisé par le projet (formation et aides diverses) ; leur application a été différenciée en fonction des types de producteurs et des zones agro-écologiques [13].

Le suivi-évaluation a révélé que la diffusion du travail du sol en courbes de niveau était lente et laborieuse. Les producteurs ont apporté des modifications significatives aux propositions, afin de les adapter aux diverses zones agro-écologiques, aux différents espaces cultivés au sein de celles-ci et aux systèmes de production (comme, par exemple, l'intérêt pour la fonction fourragère de la *Gliricidia*). Ils ont toujours privilégié l'augmentation de la production de biomasse, en fonction des possibilités de valorisation fourragère, mettant en cause l'utilisation directe de la biomasse pour la restauration de la fertilité. La mise en évidence des flux et transferts de biomasse entre les différentes composantes des systèmes de production constituait une entrée pour engager une réflexion et une action plus qualifiées. La gestion du stock de matière organique a été analysée avec trois objectifs [13] :

- appréhender les logiques et stratégies des agriculteurs et leur traduction dans la conduite de leurs systèmes techniques ;
- contribuer à l'évaluation des techniques déjà testées ou diffusées ;
- favoriser la réflexion des producteurs sur le rapport entre fertilité et pratiques.

## Systèmes de production : gestion de la fertilité ou de la biomasse ?

On a testé l'hypothèse selon laquelle l'évolution de la fertilité à l'échelle de l'exploitation peut être caractérisée par les flux de biomasse entre divers espaces de production, d'importation ou d'exportation de matière organique. Les pratiques de fumure sont limitées par les contextes économiques difficiles. La fumure organique, associant agriculture et élevage, fait l'objet de nombreuses innovations techniques (étables fumières, parc, etc.), qui ont connu des succès limités. Au mieux, 10 % des terres étaient fumées. La fumure organique dépend des troupeaux présents sur l'exploitation et des ressources en bio-

masse disponibles, en particulier fourragères. Une approche globale de ces ressources et de leur gestion éclaire les relations « sols cultivés/biomasse/élevage » et identifie les marges d'actions [14].

Les espaces et les flux constituent les principaux éléments d'une représentation systémique, schématique et graphique des pratiques de gestion de la biomasse par les agriculteurs, en fonction des espaces.

## Les espaces

On distingue principalement les espaces de concentration de biomasse et les espaces de production de biomasse.

### Espaces de concentration de biomasse

#### • La maison et le quintal

Près de la maison il est fréquent de trouver des arbres comme le garouquier (*Prosopis juliflora*), des fruitiers, une planche de légumes, des plantes médicinales, un petit bosquet, quelques volailles, parfois un petit enclos pour élever un porc. Ce jardin/verger, appelé *quintal*, comporte un développement végétal plus ou moins luxuriant selon les pluies, le niveau d'accumulation de biomasse et de couverture du sol. Les résidus organiques y sont déposés en tas. Le *quintal* est l'espace consacré aux cultures les plus exigeantes en fertilité (maïs, igname, potiron). La surface souvent réduite n'exclut pas la présence d'un petit troupeau (une à deux vaches ou chèvres attachées), alimenté grâce à divers apports fourragers (restes de culture, déchets domestiques, etc.). Plus la superficie de l'exploitation familiale est limitée et plus il est difficile de distinguer le *quintal* des champs cultivés.

#### • Le parc à animaux

Le parc est un lieu privilégié d'accumulation du stock organique. À proximité, on peut trouver un stock de restes de cultures. La tendance est d'associer au parc une mangeoire, un râtelier, voire un abri, constituant une étable fumière. Cette pratique limite les pertes d'aliments (fourrages et pailles) et concentre dans un même lieu, les résidus, les restes d'alimentation, les pailles et les excréments, destinés à la production de poudrette.

#### • Les espaces « fumés »

Les parcelles de cultures commerciales (pomme de terre, igname, banane, légumes) reçoivent généralement des



apports importants en matière organique (poudrette de parc, fumier acheté) ou en engrais minéraux. Les apports dépendent des propriétés des sols, des exigences des cultures et de la situation économique de l'agriculteur. Les parcelles de cactus fourrager et de napier en bénéficient [15].

### Espaces de production de biomasse

#### • Les parcelles cultivées

Le champ traditionnel associe plusieurs cultures : maïs, haricot, fève, manioc dans les zones plus humides. Ce sont surtout des espaces d'exportation *via* les cultures et leurs produits : grains, tubercules, paille, etc. La seule restitution constante est liée au pâturage du bétail après la récolte (dépôt d'excréments), à l'enfouissement des adventices et de quelques restes de culture.

Un appauvrissement progressif des terres est identifié par les producteurs. Le processus est moins prononcé dans le « Curimataú » où les sols sont naturellement plus fertiles.

#### • Les cultures fourragères

Le « napier grass » (*Pennisetum purpureum*) est généralement planté dans les bas-fonds. Les surfaces sont souvent réduites mais assurent une production de biomasse significative avec adaptation aux zones inondables, voire salées (tolérance en sels C4). Des haies sont plantées à la limite des parcelles occupant des espaces résiduels.

Les parcelles de cactus inerme plurianuel (*Opuntia* sp.) sont toujours clôturées pour éviter l'entrée du bétail. Récemment les agriculteurs ont associé des légumineuses pérennes (*Gliricidia sepium*, *Leucena* sp., *Cajanus cajan*) et planté des arbres et des cactées locales dans les clôtures. Des espèces fourragères d'introduction récentes (*Sorghum* et *Cajanus cajan*) sont conduites en monoculture, surtout dans le « Curimataú » (zone d'élevage) ou dans les exploitations disposant de surfaces suffisantes pour éviter les cultures associées.

#### • Les prairies

Sous ce terme sont regroupées des prairies naturelles, des prairies artificielles, surtout de *Brachiaria* sp. et *Digitaria decumbens*, et des aires de repousse de végétation naturelle herbacée et arbustive. Les troupeaux transitent entre les différents espaces à l'intérieur et à l'extérieur de l'exploitation. Les barrières des parcelles cultivées sont ouvertes après la

récolte à l'ensemble des troupeaux de la communauté. Cependant, le propriétaire d'un troupeau, même réduit, dispose toujours d'une aire réservée au pâturage, qui est essentielle durant la saison des pluies, afin de parquer et de nourrir le bétail, les autres espaces étant occupés par les cultures. Autrefois, cet espace se confondait avec les jachères aujourd'hui disparues du fait de la taille réduite des exploitations. La conduite (clôture, mise en défens, etc.) et l'utilisation de ces espaces (repousses plus ou moins boisées, prairies naturelles et artificielles), traduisent de façon différenciée le degré d'intensification de l'élevage. Les aires de repousse, ou *capoeiras*, sont aussi des sources de bois de feu, de bois de construction, de piquets de clôture. Dans les zones de « Brejo » et d'« Agreste », les parcelles les plus dégradées sont transformées en prairie naturelle (déboisement total et contrôle des repousses) puis, éventuellement, en pâturage artificiel et, finalement, en prairie clôturée (dernier investissement le plus coûteux).

### Les pratiques de gestion des flux de biomasse

Les pratiques de gestion de la biomasse sont diversifiées. La biomasse produite est prélevée par l'agriculteur (récolte, stockage des pailles), laissée sur place pour le bétail, restituée au sol ou transportée et utilisée comme fourrage ou destinée à être compostée.

#### Restitution aux parcelles cultivées

La valorisation de la biomasse passe d'abord par des pratiques de restitution *in situ*, soit directement, soit par le bétail quand il pâture les champs après les récoltes. Une partie de la biomasse, cultivée ou spontanée, reste sur la parcelle où elle est pâturée, laissée sur le sol ou enfouie.

En début des pluies, lors de la préparation du sol, les repousses les plus ligneuses sont retirées et entassées en bordure de champs ou sur les affleurements rocheux et sont compostées pour être restituées l'année suivante. Cette pratique pallie la difficulté d'incorporation de ce matériel au sol et le fait qu'il entrave le passage du cultivateur attelé. Les producteurs de pomme de terre font un nettoyage plus rigoureux car le rapport C/N élevé des résidus végétaux en fin de saison sèche y accentue l'immobilisation de l'azote disponible par les micro-organismes du sol. Quelques agri-

culteurs séparent et brûlent les repousses et les restes des matériaux les plus épineux. En saison sèche, le champ est utilisé comme pâture, à l'exception des parcelles occupées par le manioc et par l'association anis/pomme de terre. L'offre fourragère est composée par la strate herbacée (adventices) et par les restes de culture non exportés, en particulier les cannes et feuilles sèches de maïs et les tiges de fève.

La restitution par fumure concerne surtout le fumier produit sur l'exploitation. Dans les zones humides, le fumier est distribué, généralement tous les deux ou trois ans, sur les cultures d'igname, les bananiers et les cultures associées au manioc. Récemment, quelques agriculteurs ont commencé à apporter du fumier aux plantations de napier et de cactus inerme. Pour la pomme de terre, en plus du fumier de l'exploitation (15 à 20 t/ha), les producteurs appliquent de petites doses d'azote (urée ou sulfate d'ammonium) à chaque poquet ou chaque pied (50 à 100 kg/ha).

#### Pratiques de concentration

La concentration vers les espaces voisins de la maison (*quintal*, parc à animaux et/ou stocks de fourrage) implique un transport depuis le champ, les prairies et les aires de repousse, des produits récoltés, des résidus de culture, d'herbes diverses, de bois, etc.

Près de la maison, les récoltes sont battues et stockées et les restes sont conservés pour le bétail. Certains résidus comme les pailles et fanes de haricot *Phaseolus*, les enveloppes des gousses de haricot *Vigna* et des fèves, la paille et les épis de maïs (spathes, rafles, etc.) sont transportés en même temps que la récolte. Les tiges de maïs peuvent être laissées en pâture au bétail, ramassées et stockées sous un arbre ou près de la maison. Les fanes de patates douces, les feuilles et tiges de manioc et le pseudo-tronc des bananiers sont fournis encore verts aux animaux. Ces restes constituent une des principales sources de complémentation pour l'alimentation du bétail dans les zones plus humides du « Brejo » où ils sont distribués après la récolte.

Dans le « Curimataú » et l'« Agreste », les restes de culture sont systématiquement conservés et stockés pour la saison sèche, en vue de l'intensification des systèmes d'élevage et de l'intégration agriculture/élevage. Dans les zones plus humides, l'offre de fourrages verts est plus diversifiée : graminées plantées dans les bas-fonds (*Penni-*



*setum* et *Brachiaria*) et en limites de parcelles ou bien coupées sur les bords de route ou encore cédées par les voisins et distribuées dans les parcs ; pâturage des animaux sur la propriété de tiers, associé à leur parage de nuit près des maisons, qui contribue à la fois à l'importation et à la concentration de biomasse.

Ces divers flux et pratiques font de l'espace « maison/quintal/parc » non seulement un pôle de concentration et d'accumulation, mais aussi de transfor-

mation de la biomasse produite sur l'exploitation. La poudrette de parc ou celle accumulée autour des piquets, est composée des excréments et de fragments végétaux non ingérés et constitue la principale source de fumure de la région. En fonction des conditions sociales, économiques, culturelles des producteurs et de la localisation de leur exploitation, cette poudrette est soit utilisée sur le *quintal* et sur les champs cultivés, soit vendue [15].

## Construction et validation du modèle

### Éléments du modèle

La première représentation (figure) a été élaborée à partir d'une série d'observations sur 10 exploitations dans trois des

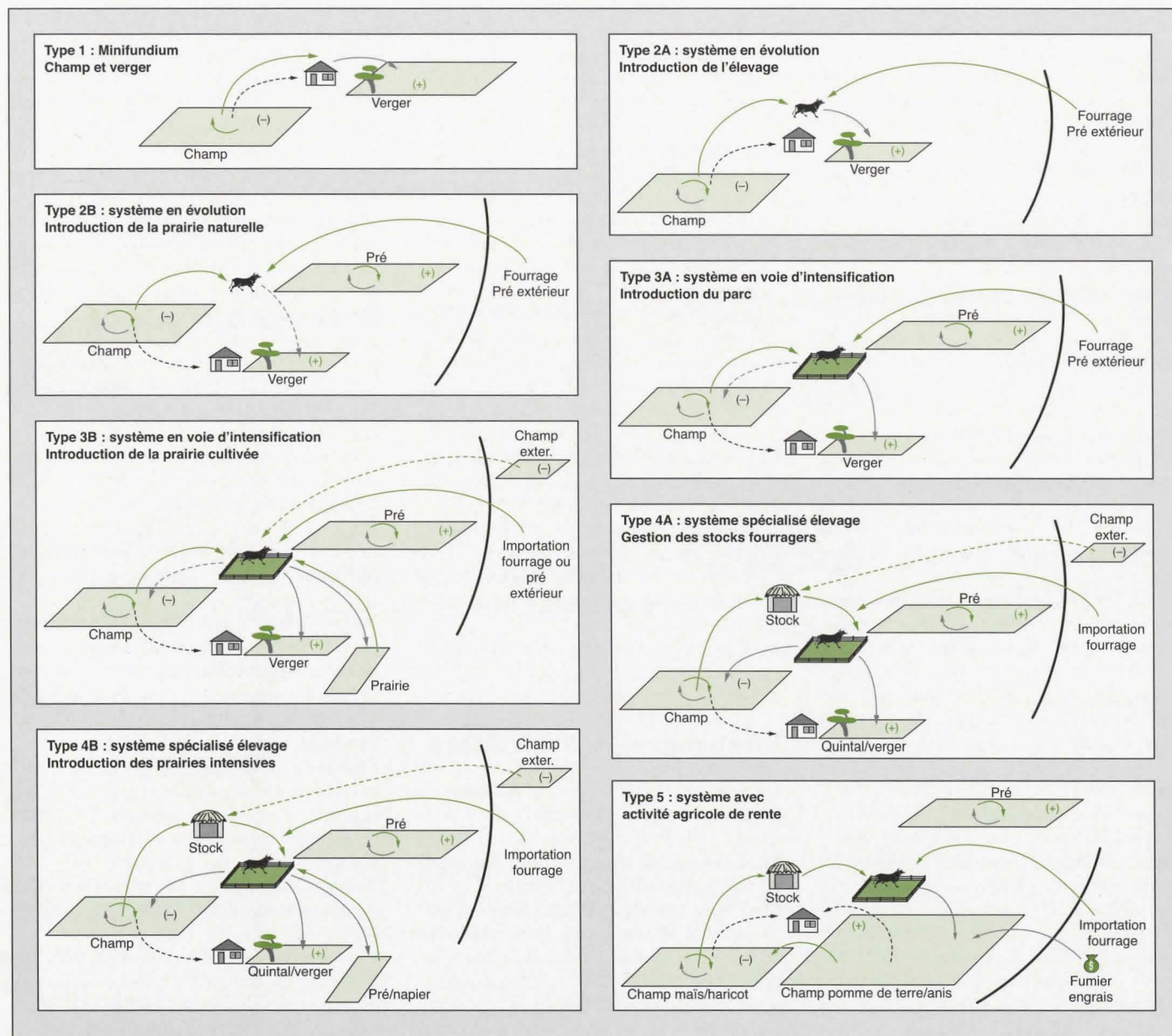


Figure. Modèle de flux de biomasse.

Figure. Models of flow of biomass.



petites régions naturelles (« Brejo » et « Curimataú » de Solânea et « Agreste » da Batatinha de Remigó).

### Les espaces

Les espaces sont symbolisés par des catégories génériques : la maison, le *quintal*, le parc, le champ cultivé, les prairies naturelles, les parcelles de napier ou de cactus inerme, les stocks. Durant les restitutions, d'autres sous-types d'espaces ont été qualifiés (champs cultivés, prairies ou cultures fourragères).

### Les flux

Le modèle est construit autour de trois principaux flux de biomasse (exportations, transferts/restitutions, importations) dont la combinaison détermine des lieux de perte, d'accumulation ou de maintien de la fertilité.

Les flux (*figure*) sont indiqués par des flèches de couleur qui correspondent à différents type de biomasse :

- pointillé noir : récoltes (grains et tubercules) ;
- vert : fourrages et pailles (pointillé : flux occasionnel) ;
- gris : poudrette, fumier ou compost ;
- noir plein : engrais.

### Les exportations en dehors de l'exploitation

Les principales exportations des espaces cultivés proviennent des récoltes destinées à l'autoconsommation ou à la vente. Les flux sont concentrés sur la maison, puis vers le marché (flèches pointillé noir). L'exportation de la biomasse des prairies s'opère essentiellement *via* le prélèvement des animaux (flèches vertes), même si une partie est restituée *in situ* (recyclage de fèces, cycle de flèches bicolores). Il existe quelques cas, peu fréquents actuellement, de vente de poudrette dans le « Curimataú ».

### Les transferts et restitutions au sein de l'exploitation

Les pailles, restes de culture et divers fourrages (végétation naturelle, sorgho, cactus inerme, napier ou pangola) sont partiellement restitués à travers le recyclage des fèces ou l'apport de poudrette, selon les modes de conduite des troupeaux. La poudrette est généralement destinée aux espaces cultivés, les pailles et restes de culture entassés dans les parcelles près de la maison étant fournis en priorité aux animaux.

La première forme de restitution au champ provient du peu de restes de cul-

ture incorporés au sol (la plupart des restes et la végétation spontanée post-récolte étant prélevés par les animaux). Le bétail ne restitue qu'une fraction de cette biomasse par les excréments. Les restitutions les plus importantes viennent des apports de fumier sec (poudrette) ou de compost (des restes de culture), destinés en priorité au *quintal* (généralement situé près du parc) et à quelques champs (tous les deux ou trois ans), en particulier pour les cultures de pomme de terre, d'igname, de manioc, de napier et de cactus inerme. Dans les prairies, la restitution *via* le bétail reste limitée sauf dans le cas de prés clôturés où les animaux passent la nuit, en l'absence de parc, et reçoivent une alimentation complémentaire en saison sèche.

### Les entrées de biomasse sur l'exploitation

L'importation de biomasse est faite selon quatre principales modalités :

- 1) pâturage du bétail en dehors de l'exploitation (pré d'un voisin ou parent, vaines pâtures, bord de routes) et retour au parc la nuit ;
- 2) récolte de fourrages (graminées, cactées, restes de culture, etc.) en dehors de l'exploitation pour alimenter le bétail durant la saison sèche ;
- 3) mise en culture de parcelles empruntées ou louées en dehors de la propriété ;
- 4) achat de fourrage (cactus inerme, sorgho, etc.) ou de concentrés.

L'achat de fumier est encore limité à la production de pomme de terre et au maraîchage. Il peut être associé à une fertilisation azotée *via* urée ou sulfate d'ammoniaque.

Le modèle des flux de biomasse systématise les pratiques dans leur diversité, les quantifie, et les explique.

## Stratégies des producteurs

Le modèle validé avec les agriculteurs identifie six types de gestion de la biomasse, incluant quelques variantes locales. Ils se différencient par une complexité croissante et par le degré d'intensification, tant de l'élevage que de l'agriculture (*tableau*). Ces pratiques ont d'abord des finalités d'intensification des systèmes d'élevage et de culture, la finalité de fertilisation des sols est secondaire. Le modèle le plus simple (type 1), s'organise autour de la maison et de un ou deux champs cultivés. L'évolution du modèle donne lieu à des combinaisons de flux de plus en plus complexes corres-

pondant à divers degrés d'intensification : (1) le *quintal*, (2) le bétail, (3) la prairie, (4) la stabulation (ensuite la mangeoire et l'abri), (5) le stock fourrager, (6) l'apport de fumier, (7) l'achat de fumier et d'engrais.

Les observations des agriculteurs confirment la relation forte entre les différentes combinaisons du modèle et les stratégies mises en œuvre, déterminées principalement par la disponibilité en terre et en travail, les conditions agro-écologiques, l'intensification de l'élevage et le rôle des cultures de rente.

### Disponibilités en terre et en main-d'œuvre

Plus la superficie de l'exploitation est grande, plus le champ des possibilités pour l'agriculteur est large. Si la superficie de l'exploitation dépasse 30 hectares, la jachère peut subsister, la diversité des types et des qualités de sols (colline, plateau, pentes, bas-fonds, etc.) peut être exploitée et on peut affecter les terres à des activités diversifiées, l'ensemble permettant de dynamiser le cycle classique de mise en valeur. Mais l'installation du jeune agriculteur se réalise souvent sur une superficie réduite, avec peu d'animaux, de sorte que l'ensemble de l'exploitation est mise en culture. La défriche correspond à une mobilisation de la fertilité accumulée et la production est souvent entièrement destinée à l'alimentation de la famille, la pluriactivité étant le lot commun. Dans la plupart des cas (types 2a et 2b), l'exploitation souffre à la fois de manque de terre, de travail et de revenus.

Petit à petit, au gré des opportunités, l'agriculteur va consolider son exploitation en augmentant dans un premier temps la superficie par achat ou prêt. Une superficie minimum (fonction des conditions agro-écologiques) est en effet nécessaire pour dégager les revenus qui permettront l'investissement dans l'élevage ou la spécialisation agricole. Fourrages et cultures de rentes apparaissent, l'agriculture devient moins minière. Les aires de repousse (même gérées comme des réserves fourragères), permettent une certaine restitution de biomasse et les cultures de rente justifient amendement ou fumure. La période de consolidation, plus ou moins longue, correspond souvent à une main-d'œuvre familiale importante liée à la présence d'enfants adolescents ou jeunes adultes (type 3). La spécialisation sera plus ou moins poussée (types 4 et 5). Lors du départ



## Tableau

### Modèle de gestion du stock organique dans l'Agreste-Paraíba

Type	Caractéristiques	Éléments
1. Système de base Minifundium	Typique du minifundium du Brejo ou du Roçado de Solânea, présence du <i>quintal</i>	Maison, champs et <i>quintal</i> . Exportation des champs et transferts réduits vers maison et <i>quintal</i>
2. Système en consolidation Introduction de l'élevage	Présence du bétail (exploitations avec petit troupeau, sans prairie) Bétail avec prairie	Maison, champs, <i>quintal</i> et bétail. Bétail conduit à la corde et/ou pâture extérieure Maison, champs, <i>quintal</i> , bétail et prairie
3. Système en voie d'intensification	Modèle courant du Brejo do Gravatá, à Remígio : présence d'un parc à animaux  Introduction de parcelle de napier	Maison, <i>quintal</i> , champs, bétail, prairie et parc – importation de fourrage extérieur à l'exploitation – apport de fumier sur certaines parcelles cultivées (igname) Maison, champs, <i>quintal</i> , bétail, prairie, parc et parcelle de napier
4. Système spécialisé Élevage	Introduction de la pratique de stock de fourrage  Idem, avec la présence de parcelle de napier	Maison, champs, <i>quintal</i> , bétail, prairie, parc et stock de fourrage – importation de fourrage extérieur – apport de fumier possible Maison, champs, <i>quintal</i> , bétail, prairie, parc, stock de fourrage et parcelle de napier
5. Système spécialisé avec activités agricoles	Type de l'Agreste da Batatinha, avec intensification agricole sur culture de pomme de terre. Achat de fumier et d'engrais	Maison, champs de haricot, champs de pomme de terre, bétail, parc, stock de fourrage ; <i>quintal</i> rare – Importation de fourrage et achat de fumier pour culture de pomme de terre

### Models for managing organic stock in Agreste-Paraíba

des enfants, le producteur âgé limite les activités agricoles à un espace déterminé de l'exploitation (*quintal* ou parc), le reste de l'exploitation étant consacré à des réserves fourragères, plus ou moins utilisées selon l'importance des troupeaux. On observe une accumulation de matière organique, qui sera de nouveau mobilisée par la défriche, lors de la succession.

La reproduction des exploitations familiales réside dans la difficulté d'accumulation due à la division de la propriété entre tous les enfants à chaque héritage. Caractéristique des systèmes paysans, l'accumulation est souvent insuffisante pour garantir la transmission d'un outil de production performant et stabilisé

aux héritiers. Dans la perspective des critères d'agriculture durable avancés par Landais [16], la transmissibilité n'est pas garantie. Chaque génération se doit donc de réinitier un cycle, en fonction des contraintes (crise du marché, maladies et ravageurs, sécheresse, etc.) ou des opportunités.

#### Les conditions agro-écologiques

Les conditions agro-écologiques jouent sur les choix des agriculteurs dans la consolidation des systèmes de production. La diversification, généralement recherchée par l'agriculteur, correspond à un processus volontaire et construit. En revanche, les crises de production sont généralement inattendues, brutales et

dépendent surtout de facteurs externes : agro-écologiques (ravageurs comme l'anthonyme du coton) ou économiques (chute des prix du sisal, concurrence de la pomme de terre du Sud du Brésil, etc.).

Dans les zones les plus sèches où la superficie des exploitations est plus importante, c'est l'élevage qui est privilégié. La sécheresse des dernières années a accentué la concurrence entre alimentation animale et la restitution du peu de biomasse disponible, y compris les restes de cultures et la végétation spontanée (adventices et repousses). Dans les zones les plus humides, il y a traditionnellement peu de cultures fourragères, en dehors des prés naturels et des parcelles de napier, et pratiquement pas de pratique de stockage. En fonction des qualités des sols, les options de spécialisation agricole, plus nombreuses, se traduisent par des pratiques diversifiées de gestion du stock de matière organique, la fumure étant rare là où la rentabilité des cultures traditionnelles (maïs, haricot et manioc) est limitée. Là où le risque climatique est moindre, on observe des apports de fumier et l'incorporation des restes de culture et des adventices, en concurrence avec leur distribution au bétail.

#### Une intensification croissante et différenciée de l'élevage

L'intensification de l'élevage est une constante dans les trois zones, mais elle est plus nette dans le « Curimataú » et les parties plus sèches de l'« Agreste » où il n'existe plus de culture de rente depuis la crise du coton. Elle se traduit par l'importance croissante des investissements en alimentation du bétail :

- exploitation des prairies, des aires de repousses, des restes de culture, y compris en dehors de l'exploitation ;
- conduite du bétail pour la pâture au piquet (attaché par une corde), surtout dans les minifundia ;
- récolte de fourrage en dehors de l'exploitation en saison sèche (herbe sur le bord des routes, restes de cultures) ;
- clôture des prairies, parfois après l'implantation de prairies artificielles ;
- introduction de cultures fourragères (cactus inerme, maïs fourrager, sorgho, pois d'angole, parcelles de napier dans les bas-fonds des zones les plus humides) ;
- constitution de stocks de fourrage, d'abord dans les parcelles cultivées (silos fenils et ensuite près du parc ou de la maison (abri, maison désaffectée, silos et fenil) ;



- distribution d'aliments au bétail dans les parcs et étables ;
- construction de stabulations, mangeoires et étables fumières (abris).

L'intensification de l'élevage offre de nouvelles possibilités : production de fumier et poudrette, revenus, traction animale, etc., et est souvent parallèle à l'intensification de l'agriculture, en utilisant les mêmes espaces. Il y a donc concurrence entre agriculture et élevage pour l'utilisation de la biomasse et non pas seulement complémentarité. L'intégration entre les deux systèmes n'est pas évidente, comme le remarquent Landais et Lhoste [17] à propos de l'Afrique, le parc ou l'étable fumière ne garantissant pas toujours l'usage du fumier. C'est le cas dans l'« Agreste » de la Paraíba où peu de producteurs disposent de charrettes ou de main-d'œuvre suffisante pour le transport et l'épandage du fumier.

### L'impact des cultures de rente

Les pratiques de fumure sont surtout destinées aux cultures qui assurent un retour économique significatif (igname, pomme de terre et bananier). L'accès au crédit (limité à quelques cultures commerciales comme la pomme de terre, récemment, ou la valorisation sur le marché local (ou celui de Campina Grande, dans le cas du maraîchage), ont conduit les producteurs de pomme de terre de Remígio et les maraîchers à acheter chaque année plusieurs camions de fumier (pour une valeur de 300 à 500 \$ US/ha). L'engrais vert se révèle moins coûteux, mais est difficile à intercaler dans le calendrier cultural (en particulier les années sèches), et il est surtout impossible à enfouir par traction animale, l'attelage familial étant limité à un boeuf.

Quelques agriculteurs de la région du « Gravatá » de Remígio et du « Brejo » de Solânea achètent, chaque année, le fumier nécessaire à environ un tiers de leurs parcelles de maïs-haricot, igname, patate douce ou manioc. Inversement, quand il n'existe aucune culture valorisant les investissements sur le marché, l'utilisation du fumier est réduite, comme dans le « Curimataú » où il peut même être vendu. Les agriculteurs perçoivent donc parfaitement l'intérêt de la fumure sous ces différentes formes, mais les pratiques de fumure ne sont que rarement réalisées dans un seul but de maintien de la fertilité qui n'est qu'induit.

## Une évolution dynamique et diversifiée

### Diversité et mobilité

Notre diagnostic met en évidence la diversité et la relative instabilité des systèmes, les statuts des différents espaces cultivés (à l'exception du *quintal* quand il est planté d'arbres) n'étant jamais définitifs. Ce statut peut changer au cours d'une génération : héritages, divisions, achats et ventes entraînent également des mouvements de fragmentation ou de reconstitution des propriétés familiales. Les différentes parcelles cultivées et pâturées ne sont pas figées selon une organisation de l'espace uniquement liée à la qualité des sols et autour d'une fonction précise, même s'il existe une tendance à réserver les terres les plus productives pour l'agriculture et les autres pour les prairies ou les friches. Les statuts des champs évoluent en fonction des besoins et stratégies prioritaires de l'agriculteur et de sa famille, plutôt que de par la perception du nécessaire équilibre écologique. Par exemple, chez certains agriculteurs, dans le « Curimataú », la conservation d'une jachère arborée peut être interprétée comme une volonté de maintien d'une réserve de bois de feu et de fourrage, mais cette jachère arborée peut être déboisée et mise en culture si besoin est.

L'identification et la qualification des transferts de matière organique au sein de l'exploitation, du terroir, voire de la petite région (vallée, bassin versant) permettent une représentation plus intégrée des espaces et des sous-systèmes productifs auxquels ils sont associés. Cette représentation offre de nouvelles possibilités d'action, en particulier concernant la concurrence entre agriculture et élevage, sur les limites de cette association et sur le rôle possible et les limites de la sole fourragère [17].

### Une perception croissante de la nécessité de la fumure

La perception par les agriculteurs de l'importance de la valorisation de la fumure et de l'accumulation de la biomasse a été confirmée au cours de l'étude. On le voit avec l'apport de fumier sur les cultures de pomme de terre et d'igname, productions commerciales qui répondent économiquement à la fumure. Dans le « Curimataú », en revanche, l'absence d'une culture de

rente donnée, explique, en partie la vente de fumier.

Cependant, en dehors des espaces cultivés en permanence (*quintal*, bananeraie et champs de pomme de terre) les transferts de matière organique sont encore souvent le fait d'ajustements variables plutôt que d'une gestion raisonnée et régulière. Cela est probablement lié au fait que les différents espaces ne sont pas utilisés de façon permanente pour les mêmes activités et que l'introduction des soles fourragères est encore récente. Le passage de simples ajustements à une véritable gestion de la matière organique constitue un saut qualitatif du processus d'intensification et pose le problème de la stabilisation des systèmes.

### Nouvelles demandes et propositions

Les restitutions ont fait apparaître de nouvelles propositions d'expérimentation ou de diffusion. Il y a réhabilitation d'anciennes propositions de l'AS-PTA, mais dans une perspective plus intégrée entre agriculture, élevage et conservation des sols. Les billons perpendiculaires à la pente, justifiés par la culture attelée et l'enfouissement du fumier, sont réservés aux cultures nobles. Les courbes de niveau sont associées à la plantation de bandes de *vetiver* ou lignes arborées intercalaires (*Gliricidia*, *Leucena*, *Cajunus cajun*, *neem*, etc.) sources de fourrages ou de bois. Le manque de main-d'œuvre interdit toute proposition exigeante en travail uniquement destiné à favoriser la conservation des sols, sans apporter des gains fourragers ou monétaires (cultures de rente). C'est ce qui explique la diffusion limitée de propositions comme la couverture morte, exigeante en travail. Parmi les nouveaux thèmes d'expérimentation, on note l'introduction de nouvelles espèces fourragères ou sources de bois (locales ou exotiques) dans les haies ou clôtures et la culture du cactus inerme associé aux légumineuses arborées, à d'autres caillées locales ou aux cultures annuelles. L'impact des lignes intercalaires boisées en termes de production de biomasse et de fertilisation du sol a fait l'objet de mesures quantitatives et qualitatives. Divers tests d'associations adoptés par les agriculteurs-expérimentateurs soulignent le rôle de l'arbre et une première étude descriptive de l'arborisation des divers espaces des exploitations a été entreprise. Le thème de la fumure a également donné lieu à des études qualitatives plus complètes et à des évaluations quantitatives, avant de passer à la formu-



lation d'essais ou tests. Les spécificités liées aux zones agro-écologiques et à la situation individuelle des agriculteurs conduisent à des propositions de recherche et d'action différenciées selon les petites régions et les types de producteur.

## Conclusion : une révision des actions du projet « Paraíba »

L'appauvrissement de certains sols et les difficultés de maintien de la fertilité sont clairement identifiés par les agriculteurs. Ils attribuent ces problèmes à la répétition des cultures sur les mêmes parcelles et à la fin de la pratique systématique de la jachère. Ils invoquent le manque d'alternatives en termes de culture de rente et de crédit, les deux voies qui, associées, permettent de financer l'achat de fumier ou d'engrais.

La compréhension par les agriculteurs de la modélisation des flux a permis le développement de réflexions et de dialogues spécifiques, au sein des groupes locaux, autour de la complémentarité et de la concurrence entre intensification de l'agriculture et de l'élevage.

La production de biomasse doit être favorisée sur l'ensemble des parcelles et des superficies, en utilisant la diversité des espèces pour utiliser au mieux les ressources en sols et en eau. La production de biomasse est exigeante en travail pour les agriculteurs et doit répondre à leurs besoins (autoconsommation, vente, bois, fourrages, etc.).

La priorité donnée à l'élevage conduit à privilégier l'intégration d'une composante fourragère (lignes intercalaires arborées, associations de culture avec sorgho et pois d'angle, valorisation des pailles et fanes, mise en place de haies, etc.). Les propositions initiales du projet supposaient l'enfouissement direct de la biomasse produite, alors que l'expérience a montré que cette pratique n'est effectuée par les agriculteurs qu'avec la végétation adventice inutilisable comme fourrage.

Toute biomasse à valeur fourragère étant systématiquement utilisée pour l'alimen-

tation du bétail, les propositions de reconstitution de la fertilité des sols doivent suivre deux axes :

1) augmentation de la production de biomasse sur l'ensemble des espaces de l'exploitation ;

2) valorisation optimale du fumier et des restes de culture sur les espaces cultivés.

La fertilisation des prairies artificielles et des cultures fourragères (cactus inerme), la plantation ou l'entretien de haies, lignes intercalaires arborées et bosquets sont autant de contributions au maintien de la fertilité des sols sur l'ensemble de l'exploitation et non seulement sur les parcelles cultivées. L'intérêt des agriculteurs pour planter certaines espèces d'arbres suggère une proposition plus large : l'arborisation des divers espaces de l'exploitation ■

## Références

1. Petersen P. *Diagnóstico ambiental do Município de Remígio*. Solânea-PB : AS-PTA, 1995.
2. Japiot F. *Diagnostic des systèmes de production et des systèmes d'élevage dans l'Agreste de la Paraíba, municipes de Solânea et Remígio, État de la Paraíba, Brésil*. Montpellier : CNEARC, AS-PTA, Cirad-SAR, mémoire EITARC, 1995 ; 158 p.
3. AS-PTA. *Relatório de atividades do projeto Paraíba*. Esperança : AS-PTA, 1998 ; 70 p.
4. Sebillotte M. Fertilité du milieu et agriculture. *Bull Tech Inf* 1982 ; 370-2 : 331-3.
5. Pichot JP. Exposé introductif : la fertilité des milieux tropicaux humides. In : Pichot J, Sibelet N, Lacoœuilhe, eds. *Fertilité du milieu et stratégies paysannes sous les tropiques humides. Actes du séminaire, 13-17 novembre 1995, Montpellier, France*. Montpellier : Cirad, 1996 : 13-5.

6. Tonneau JP. *Note sur la gestion de la fertilité dans l'Agreste de la Paraíba*. Montpellier : Cirad, 1998 ; 6 p. et annexes.

7. Marçal da Silveira, Sabourin E. *Diagnóstico do manejo de fertilidade. Síntese da restituição*. Esperança-PB, Brésil : AS-PTA/Cirad, 1998 ; 12 p.

8. Andrade MC de. *A Terra e o Homem do Nordeste*. São Paulo, Brésil : Hucitec, 1980 ; 237 p.

9. Fibge. *Censo Agropecuário, 1985*. Rio de Janeiro : Fundação IBGE, 1986.

10. AS-PTA. *Agricultores Familiares do Agreste Paraibano. O caso dos municípios de Solânea e Remígio*. Solânea-PB, Brésil : AS-PTA, 1997 ; 28 p.

11. Sabourin E. *Organização dos produtores familiares para a geração e a difusão de inovações no Agreste paraibano*. Campina Grande : UFPB, CNPq Cirad-Tera, 1998 ; 63 p.

12. Leprun JC. *A erosão. A conservação e o manejo do solo no Nordeste brasileiro*. Recife : Sudene, Série Recursos de solos, 1981 ; 15 p.

13. Marçal da Silveira, Tiessen H, Tonneau JP. Organic matter management in family agriculture of semiarid Paraíba, Brazil. In : Martius C, Vlek PLG, Tiessen H, eds. *Management of organic matter in tropical soils: scope and limitations*. Dordrecht : Kluwer, 2001 ; in press (ISP 1-080).

14. Dugué P. *Flux de biomasse et gestion de la fertilité à l'échelle des terroirs. Nord-Cameroun*. Montpellier : Cirad, document Cirad-Tera n° 29/98, 1998 ; 68 p.

15. Sabourin E, Marçal da Silveira, Tonneau JP, Sidersky P. *Gestão da fertilidade em unidades familiares do Agreste da Paraíba – um estudo do manejo dos fluxos de biomassa*. Recife : AS-PTA, Cirad-Tera, 1999 ; 40 p.

16. Landais E. Agriculture durable : les fondements d'un nouveau contrat social. *Courrier de l'environnement de l'Inra*, 1998 ; 33 : 5-22.

17. Landais E, Lhoste P. L'association agriculture-élevage en Afrique intertropicale : un mythe techniciste confronté aux réalités du terrain. *Cahiers des sciences humaines* 1990 ; 26 : 217-35.

## Résumé

Ce texte présente le cadre, la méthode et les principaux enseignements d'un pré-diagnostic des pratiques de gestion du stock organique des sols des exploitations familiales de « l'Agreste » de la Paraíba (Brésil). L'étude a été conduite dans plusieurs petites régions naturelles des districts de Solânea et Remígio. Le diagnostic, participatif, s'appuie sur un modèle de flux de biomasse à l'échelle de l'exploitation familiale. La validation de ce modèle par les agriculteurs et le dialogue entre chercheurs, techniciens et producteurs ont permis une représentation commune de la gestion de la biomasse qui a conduit à repenser le thème de la fertilité.



## Summary

### Biomass flow modelling: an approach to soil fertility management in the Agreste region of Paraíba (Brazil)

J.-P. Tonneau, É. Sabourin, L. Marçal da Silveira, P. Sidersky

The study of soil fertility management is part of the AS-PTA programme (Support and Services for Alternative Agricultural Projects) to support sustainable family agriculture in the Agreste region of Paraíba (Brazil). The project was carried out in partnership with smallholder organizations from the Solânea and Remígio districts. The aim of the participatory appraisal of soil fertility management was threefold:

1) analyse soil fertility management practices, in order to understand how farmers manage their farming systems (rationale and strategies);

2) evaluate proposals that had already been tested or applied;

3) encourage farmers to consider and discuss their soil fertility management practices, using a graphic representation.

This paper describes the results of the study and how it was presented to farmers.

The region and its farming systems: The Agreste region in Northeastern Brazil is known for its diverse agro-ecological conditions. Average rainfall in the Eastern part of the Remígio and Solânea districts is around 1,000 mm/year compared to 400 mm/year just 40 km to the West. The range of natural vegetation and farming practices in the region reflects this gradient. All family farming systems are based on mixed cropping and livestock production. Although six production subsystems were identified, annual crops, pasture and orchards dominate the landscape. Nearly all smallholder families raise a few animals, which are generally tethered. Cattle is the most common form of livestock production, the proportion of small ruminants being higher in areas with less rainfall.

Smallholders' biomass management practices: On a farm level, soil fertility management can be described by the flow of biomass between different areas or centres that produce, import or export organic matter. The model is based on these areas and flows, which are used to construct a systematic and graphic representation of soil fertility management practices. Several areas can be distinguished: areas where biomass is concentrated (house, storage areas, cattle pen and orchard; areas that export fertility (cultivated fields, grassland and self-sown plants); fertilized areas.

There are numerous types of biomass and management practices. Biomass can include crop products and residues (fruits, cereals, tubers, straw and chaff), natural grassland and grass leys, self-sown vegetation, trees and shrubs. The farmer or the livestock initially uses the biomass (harvest, fodder). Practices return biomass to the soil while others concentrate it.

Construction and validation of the biomass management model: The representation of biomass flows was based on a series of observations made on 10 farms in the three agro-ecological zones. It was organized around the different areas and the biomass flows. The former were symbolized by their generic category: house, cultivated field, orchard, cattle pen, grasslands, forage store, etc. (Figure). The model was built around three main types of biomass flows (exports, transfers, imports), the combination of which determines the centres of soil fertility loss, accumulation or maintenance. The farmers discussed and validated the model. Five types of soil fertility management practices were identified with several local variations. These differ in terms of degree of complexity and intensification of both crop and livestock production (Table). Given that the farming practices observed are primarily geared to intensifying livestock and crop production, the function of soil fertility seems to be secondary.

The basic and simplest form is represented by the house and one (or two) cultivated field(s). As the model evolves, other areas and factors come into play, with increasingly complex combinations of flows which correspond to different degrees of intensification. The main factors involved in these evolutions are: 1) the presence of the orchard, 2) livestock, 3) grassland, 4) introduction of animal housing (followed by a feeding trough and shelter), 5) fodder storage, 6) applications of manure and, lastly, 7) the purchase of manure and artificial fertilizer.

The farmers' observations confirm that there is a strong link between the model's main features and smallholders' strategies. Land and labour availability, agro-ecological conditions, the intensification of livestock production, and the role of cash crops are the main factors that determine these strategies.

Conclusion: Soil fertility management systems are diverse and relatively unstable. The status of different cultivated areas is never definitive and can change within a generation. This does not mean that the trend is exclusively one of soil fertility loss, soil depletion or environmental degradation, as claimed by some alarmist publications which suggest that 70% of land in Paraíba is affected by desertification. As we have seen, there are practices, some of which are ancient, that maintain and restore soil fertility. Land use (the organization of space) is not simply set according to soil quality and a specific function. Farmers have priorities (needs and strategies) which determine the status of fields and how their fertility is managed. The study confirmed the fact that farmers are aware of the importance of improving soil fertility and accumulating biomass. However, these fertility transfers are often arbitrary adjustments, and not part of a rational management planning strategy. When the results of this study were presented to the farmers, new propositions were suggested for further trials or study. Earlier proposals were modified with emphasis on improved integration between crop production, livestock, and soil conservation. New research areas were identified, including the impact of wooded alleys in terms of biomass production and of soil fertilization, mixed crop trials, the role of trees and manure management. Proposals were put forward for a range of action-research projects which concern small regions and smallholders because of the specificities of the agro-ecological zones and of farmers' individual situations.

The study provided the opportunity to review innovations that had already been tested. Several hypotheses were validated but new questions were raised. Using an integrated whole-farm approach to organic matter management meant that a qualitative leap could be made in terms of soil fertility representation and management. This demonstrated the importance of examining the situation at different levels (regions, valley, and catchment area).

Previous recommendations suggested that biomass should be incorporated directly. However, this practice is only carried out when the vegetation cannot be used for fodder. Biomass with a forage value is automatically fed to livestock. Therefore, proposals for restoring soil fertility should be based on increasing the overall production of biomass on the farm and optimizing the use of manure and crop residues on the cultivated areas.